

## PRÍSPEVOK K METODIKE ABSOLÚTNEJ DOZIMETRIE $\text{Sr}^{90}$

ALOJZIA STANKOVICOVÁ, FRANTIŠEK MINÁRIK,  
KAROL ĎURČEK, Bratislava

**Riešenie úlohy.** Sledovanie vyučovania  $\text{Sr}^{90}$  z organizmu močom na našom ústavе postavilo do popredia úlohu určiť aktivitu vyšetrovanych vzoriek absolútne. Vzorky, o chemickom spracovaní ktorých sa hovorí na inom mieste [17], náchádzali sa v podobe odparenej zrazeniny na hlinkovej miske a merali sa pomocou G—M trubíc na ich aktivitu beta.

Známym [1] vzťahom:  $N = 2,22 \cdot 10^{12} \eta A$  je daný súvis medzi  $N$  nameraným počtom impulzov/minutu zaznamenaným na elektronickom zariadení a aktivitou  $A$  preparátu v jednotkách Curie;  $\eta$  je koeficient a zahrnuje väčší počet opráv, ktorých precízne určenie za daných experimentálnych podmienok značne znevýhodňuje tuto inak veľmi jednoduchú a čo sa týka technického vybavenia dosť nenáročnú metódu na absolútne stanovenie aktivity.

Koeficient účinnosti zahrnuje tieto faktory:

$$\eta = \eta' \cdot p \cdot G \cdot q \cdot K \cdot S,$$

$\eta'$  je vlastná účinnosť trubice, tento koeficient sa pre beta trubice rovná 1 [2].

Koeficient  $p$  udáva počet emitovaných častic prípadajúcich na jeden rozpad. Túto hodnotu, ak vieme, o aký rádioaktívny izotop ide a poznáme príslušnú rozpadovú schému, výčítame v tabuľkach izotopov [3].

**G je koeficient geometrie.** Udáva vlastné podiel žiarenia, ktoré dopadne do účinného priestoru trubice vzhľadom na celkové žiarenie emitované do celeho priestoru. Tento faktor sa stanovi výpočtom, súvisí s geometrickými podmienkami merania. Pre jeho určenie boli odvodene vzorce, ako pre prípad bodového zdroja umiesteného v osi trubice, tak pre prípad, že zdroj je plošný a má podobu kruhu [4]. Zdalo by sa teda, že určenie tohto koeficientu je jednoduché, stačí určiť potrebné parametre a použiť pre výpočet odvodenu formulu. Tažkosť je však v tom, že pri teoretických odvodech sa vychádza z početných predpokladov, ktorých splnenie v praxi sa nedosahuje. Jedným z týchto predpokladov je, že celý priestor v trubici je rovnako účinný.

Tendencia je [5] žiarenie kolimovať clonou predradenou pred okienko G—M trubice. Volba velkosti clony súvisí s velkosťou okienka a zdroja. Je snaha použiť čo možno najmenšiu clonu, pokiaľ to samozrejme dovoluje aktivita vzorky.

Koeficient  $q$  — odraz a rozptyl od podložky vystupuje vo vypočtoch vždy vtedy, ak merany preparát je nanesený na nejakej podložke, od ktorej sa žiarenie odraža, resp. rozptyluje. Efekt spätného odrazu a rozptylu skúmalu mnohí autori. Koeficient  $q$  je podiel aktivity nameranej, ak vzorka je na podložke, a aktivity vzorky bez podložky. Z výsledkov týchto skúmaní je jasné, že preparát je najvhodnejšie merat, ak je bezpodložkový, t. j. nanesený na tenkú blanku (o plošnej vähe asi  $20 \text{ mg/cm}^2$ ), vtedy sa  $q$  rovná 1; alebo použiť podložku hrúbky nasýtenia. Zistilo sa totiž, že koeficient  $q$  narastá so zväčšovaním hrúbky podložky do istej hodnoty, ktorá potom zostáva konštantná, nezávislá od ďalšieho zväčšovania hrúbky podložky. Tá hrúbka podložky, pre ktorú koeficient  $q$  sa už nemenní, je hrúbka nasýtenia rovná približne dvojnásobku polovrstvy pre dané žiarenie a daný materiál podložky.

Hodnota koeficientu  $q$  pre hrúbku nasýtenia závisí od poradového čísla materiálu podložky a zostáva pre všetky beta žiaric s energiou väčšou ako  $0,6 \text{ MeV}$  prakticky konštantná. Tým je teda daná možnosť použiť pre určenie  $q$  nejaké údaje z literatúry, napr. graf Burthov uvedený tiež v [10]. Podrobne skúmania v novšej dobe [11] poukazujú však na neizotropnosť správne odrazenej a rozptylenej žiareniu, tým je vysvetliteľná závislosť koeficientu odrazu a rozptylu od geometrického usporiadania.

Ak nepoužijeme podložku hrúbky nasýtenia, ako aj v prípade, že použitý rádioaktívny izotop má energiu emitovaných častic menšiu ako  $0,6 \text{ MeV}$ , treba koeficient  $q$  určiť experimentálne.

Koeficient  $K$  — koeficient absorpcie súvisí s poohltením žiarenia v prostredí, ktorým prechádza. Pri presných meraniach treba brať do úvahy absorpciu žiarenia jednako vo vzduchu medzi preparátom a okienkom počiata a v materiáli okienka. Koeficient  $K$  je daný pomerom  $N/N_0$ , kde  $N_0$  je aktivita neoslabeného žiarenia a  $N$  nameraná aktivita, ak žiarenie prechádza hmotným prostredím. Ak sa určuje koeficient  $K$  experimentálne, sleduje sa závislosť nameranej aktivity  $N$  (relativne v impulzoch za minútu) od hrúbky absorpčnej vrstvy. Najčastejšie sa používa ako absorber extraluminium, jeho hrubka sa vyjadruje v  $\text{mg/cm}^2$ . Z takto zistenej závislosti sa extrapoláciou pre nulovú hrubku absorberu určí  $N_0$ . Táto závislosť má exponenciálny charakter  $N = N_0 e^{-\mu d}$ , kde  $d$  je hrubka absorpčnej vrstvy a  $\mu$  koeficient absorpcie. Absorpcia žiarenia sa najmä pri malých hrubkach odchyľuje od exponenciálneho zákona [11]. Táto odchyľka je tým výraznejšia, čím je beta žiarenie mäks. Určiť extrapoláciu hodnotu  $N_0$  spôsobuje preto značne tažkosť.

V rôznych tabuľkach [12] existujú početné údaje pre koeficient absorpcie  $\mu$ , resp. pre polovrstvu  $d = \ln 2/\mu$ , resp. existujú poloempirické formule na výpočet týchto konšant na základe znalostí maximálnej energie beta spektra príslušného rádioaktívneho prvku. V literatúre sú ďalej odporúčania pre ďalšie korekcie, upresňujúce hodnoty týchto konšant, ak absorber je iný materiál ako alumínium. Je však

otážka, či tieto prepočty sú rentabilné, ak samy hodnoty  $\mu$ , resp.  $A$  ziskané pomocou rôznych formúl sa medzi sebou nekryjú.

Koeficient  $S$  samoabsorpcie a samorozptylu vo vlastnom preparáte sa určuje ako pomer početnosti preparátu končnej hrúbky ku početnosti preparátu tej istej aktivity, ale vo vrstve bez váhy. Do r. 1950 sa predpokladalo, že závislosť koeficientu  $S$  od hrúbky preparátu je exponenciálna. Až Collie, Shaw, Gale [15] zistili, že exponenciálny charakter je pri tenkých vrstvach narušený objavením sa maxima. Toto maximum autorí správne vysvetili superpoziciou dvoch vzájomne odlišných javov: samorozptylu, ktorý zväčšuje početnosť preparátu, a pohltenia, ktoré znížuje početnosť. V tenkých vrstvách prevláda samorozptyl, kým v hrubých preparátoch podstatnú úlohu má pohltenie.

Koeficient  $S$  závisí od efektívneho atómového čísla zlúčeniny, ktorá nesie aktívny prvok, od štruktúry preparátu, od hrúbky pohlcujúcej vrstvy medzi preparátom a učinným objemom  $G-M$  trubice, od energie beta častic.

AK nie je možné pracovať s veľmi tenkými zdrojmi, hrúbky  $4/80$  pre  $Z_{eff} \leq 40$  a  $4/200$  pre  $Z_{eff} > 40$ , kde  $4$  je polovrstva hliníka a  $Z_{eff}$  je efektívne atómové číslo vyšetrovanej zlúčeniny, ked koeficient  $S$  možno položiť rovný  $1$  (chyba tým spôsobená neprevyrsuje  $1\%$  [16]), treba určiť koeficient  $S$  experimentálne.

Zistuje sa závislosť zmeny početnosti od hrúbky preparátu, zmenáním vzoriek s rovnakou aktivitou pri rôznom množstve neaktívnej látky ako nosiča.

**Experimentálne usporiadanie a merania.** Na meranie sa používajú beta trubice typu  $30/50$  B. Trubica je upevnená v olovenom kryte hrúbky  $5$  cm, zvnútra je obložený hliníkovým plechom. Preparát nanesený na hliníkovej miske sa umiesti na podložku z plexiskla. Podložka sa zasúva do stojančeka; je možných  $5$  rozličných poloh prepratku. Týmto usporiadaním možno vždy presne určiť a presne dodržať geometriu, v ktorej sa meria.

V našich meraniach sme určili geometriu za dvojakých okolností:

1. bez použitia externej clony,

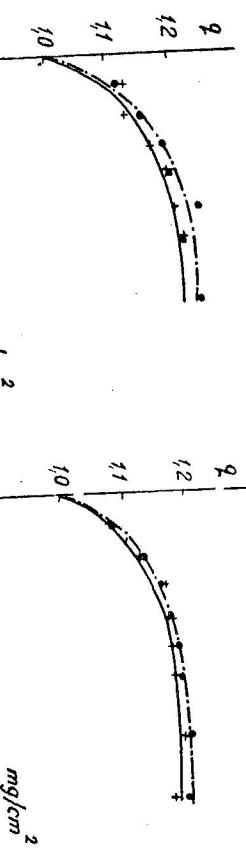
2. pred okienko trubice sa zaradila mosadzná clona hrúbky  $3$  mm, ktorá mala otvor o polomeru  $0,91$  cm.

Koeficient  $G$  vypočítaný pre plošný zdroj sa určil pomocou tabuľiek [12]. Potrebné parametre (polomer misky, polomer okienka, resp. kruhové clony a vzdialenosť prepratku od okienka, resp. od horného okraja clony) sa určili ako priemerné hodnoty z  $10$  meraní.

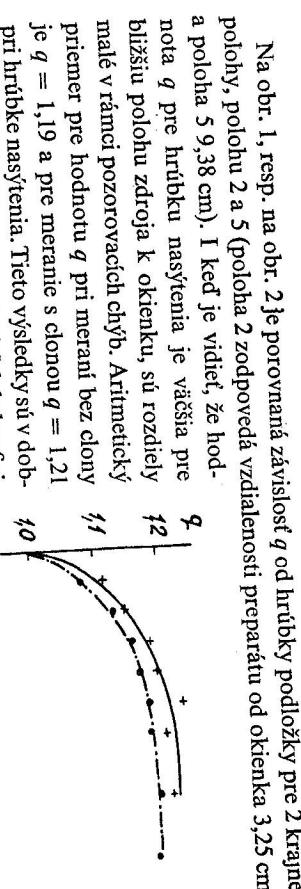
Koeficient  $q$ , t.j. odraz a rozptyl od podložky sa určoval experimentálne. Použila sa vzorka rovnakej velkosti ako nami používané preparáty, nanesená na tenkú blanku napnutú na rámku. Pod túto blanku sa podkladali postupne hliníkové fólie o hrúbke  $25$  mg/cm $^2$  a zisťovala sa závislosť pomeru početnosti  $I_x/I_0 = q$  od hrúbky podložky  $x$  udanej v mg/cm $^2$ . ( $I_x$  početnosť nameraná pri hrúbke podložky  $x$ ,  $I_0$  početnosť pri nulovej hrúbke, t.j. početnosť prepratku naneseného na blanku.)

Merala sa závislosť koeficientu  $q$  od hrúbky hliníkovej podložky v rôznych nami používaných vzdialenosťach prepratku od okienka a pri použíti clony pred okienkom,

resp. bez clony. Najdená závislosť čo do charakteru plne zodpovedá krivke dobre známej z literatúry. Zo všetkých kriviek vidieť, že hrúbka nasýtenia pre alumíniovú podložku a izotop Sr $^{90}$  v rovnováhe s Y $^{90}$  je prakticky už  $100-200$  mg/cm $^2$ .



Obr. 1. Závislosť koeficientu  $q$  od hrúbky A1 podložky (pred okienko G-M trubice je predrádená clona) pre 2 vzdialenosťi prepratku od okienka. Obr. 2. Závislosť koeficientu  $q$  od hrúbky A1 podložky (pred okienko G-M trubice nie je zaradená clona) pre 2 vzdialenosťi prepratku.

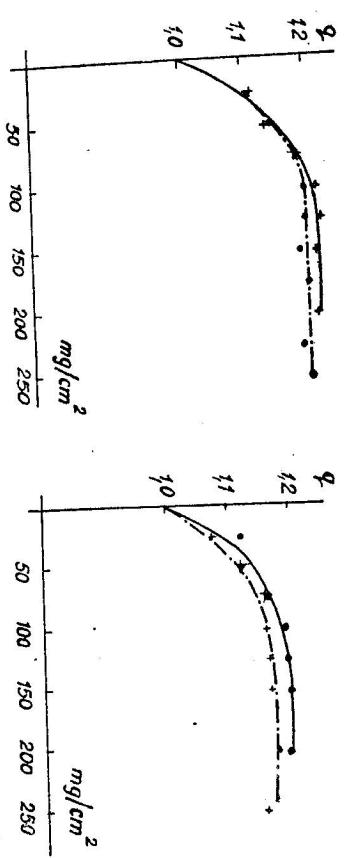


Obr. 3. Závislosť koeficientu  $q$  od hrúbky A1 podložky pri pevnej vzdialenosťi prepratku od okienka (poloha 2). —— pred okienkom G-M trubice je clona, - - - bez clony

smer kolmý na podložku. Rozdiel hodnoty  $q$  pri hrúbke nasýtenia je  $0,02 - 0,03$ .

Robit nejaké ďalekosiazle závery z týchto nemnohých meraní nie sme oprávnení, ale pre určenie koeficientu  $q$  zdá sa nám správnejšie použiť experimentálne výsledky ziskané za používanych podmienok merania.

Koeficient  $K$ , t. j. podiel žiarenia pohleneného vo vzduchu a v okienku trubice pre 5 rôznych polôh preparátu sme určili dvojákym spôsobom: 1. výpočtom a 2. experimentálne.



Obr. 4. Závislosť koeficientu  $q$  od hrúbky Al podložky pri pevnnej vzdialosti preparátu od okienka (poloha 3). — Obr. 5. Závislosť koeficientu  $q$  od hrúbky Al podložky pri pevnnej vzdialosti preparátu od okienka (poloha 5). — pred okienkom G—M trubice je clona — bez clony

Pri výpočte sa určil zvlášť koeficient pohlenenia  $K_1$  pre stroncium o maximálnej energii  $E_m = 0,54$  MeV a zvlášť  $K_2$  pre yttrium s maximálnou energiou  $E_m = 2,27$  MeV. Uvažoval sa prechod dvoma prostrediami: vzduchu + okienko (sluda). V tomto prípade koeficient

$$K = \exp\left(-\frac{\ln 2}{d_1} d_1 - \frac{\ln 2}{d_2} d_2\right),$$

kde  $d_1$ ,  $d_2$  je polovrstva v prostredí 1, resp. 2 a  $d_1$ ,  $d_2$  je hrúbka absorpčnej vrstvy prvého prostredia, resp. druhého. Pre určenie polovrstvy sa použili formule:

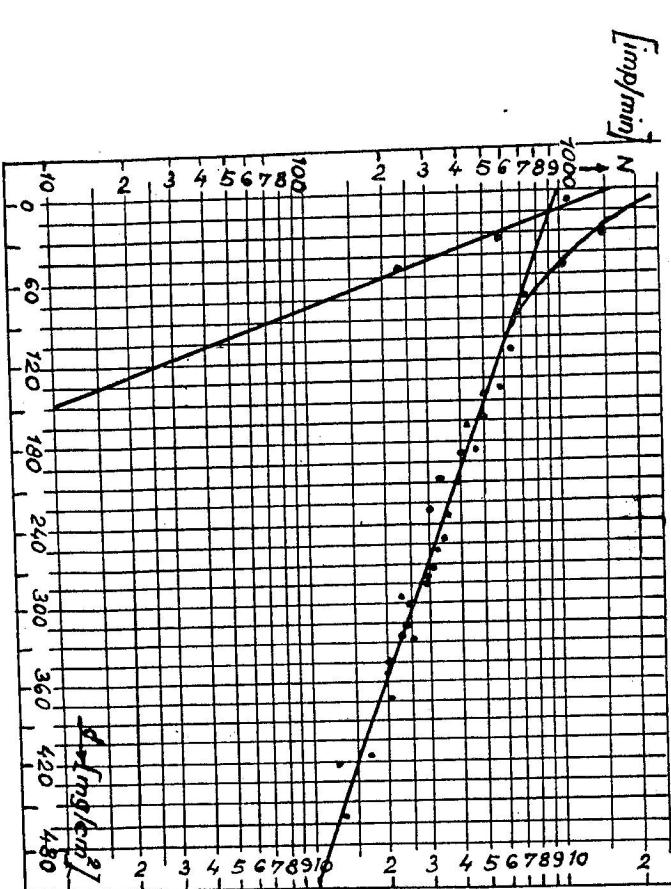
$$\begin{aligned} d_{Al} &= 55E_m^{1,66} && \text{pre } E_m \in (0,15; 0,7); \\ d_{Al} &= 53E_m^{1,47} && \text{pre } E_m \in (0,70; 2,5) \end{aligned}$$

( $d$  je udané v  $\text{mg}/\text{cm}^2$ ,  $E_m$  sa dosadzuje MeV). Prepočet na polovrstvu v inom materiáli podľa vzťahu z [11]

$$d_Z = \frac{118}{105 + Z} d_{Al}.$$

Atómové číslo  $Z$  pre vzduch, resp. sludu podľa [13] je 7,64 a 11,33. Hľadaný koeficient  $K = \frac{1}{2}(K_1 + K_2)$ , pretože ide o meranie  $\text{Sr}^{90}$  v rovnováhe s  $\text{Y}^{90}$ .

Pri experimentálnom určovaní koeficientu  $K$  zisťovali sme zmenu aktivity na hrúbke absorpčnej vrstvy (absorpčná vrstva sa rovnala hliník + vzduch + okienko), pričom sme použili hliníkové fólie o hrúbke  $22 \text{ mg}/\text{cm}^2$ . Merania boli robené s  $1,5\%$  štatistickou presnosťou. Ziskaná absorpčná krivka (obr. 6; na semilogaritmickom



Obr. 6. Krivka absorpcie beta žiarenia  $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$  v hliníku znázorená v semilogaritmických súradniach.

papieri) sa známym spôsobom rozložila na zložku pripadajúcu absorpcii stroncia a zložku pripadajúcu absorpcii yttria. Obje priamky sa extrapolovali pre nulovú hrúbku absorpčnej vrstvy. Koeficient  $K$  pre hrúbku  $d$ , ktorá nás zaujíma, sa určil:

$$K = \frac{N_1 + N_2}{N_{10} + N_{20}},$$

kde  $N_{10}$ , resp.  $N_{20}$  sú extrapolované hodnoty na priamke pre stroncium, resp. pre yttrium a  $N_1$ , resp.  $N_2$  odčítané hodnoty na absorpčných priamkach pre príslušnú hodnotu  $d$ . Koeficient samoabsorpcie sa nevyštreloval.

Vo výslednej tabuľke je uvedený koeficient účinnosti pre geometriu bez clony a s externou clonou. Vypočítané hodnoty koeficientu účinnosti, určené pri použití

s koefficientom účinnosti určeným pomocou štandardu. K dispozícii sme mali 6 štandardov odpareného roztoru  $Sr^{90}$  na hlinkovej miske nášho typu dodaných z dosimetrického oddelenia Ústavu jaderného výzkumu v Prahe. Koefficient účinnosti podľa štandardu sa určil ako aritmetický priemer z hodnôt získaných pomocou jednotlivých štandardov. V tabuľke je udaná ku každej hodnote priemera smerodajná odchyľka, ktorej veľkosť súvisí jednak s presnosťou udania aktivity štandardu, jednak so štatistickou chybou merania štandardu. Pretože išlo o odparený roztor bez nosiča, sme oprávneni toto porovnanie s vypočítaným  $\eta$  pri  $S = 1$  robiť. Pri geometrii bez clony je koefficient  $\eta$  určený jednak ak sme uvažovali koefficient  $K$  vypočítaný a jednak ak koefficient  $K$  sa určil z nami zistenej absorpčnej krivky.

Tabuľka 1

Koefficient účinnosti $\eta$ v %					
poloha	bez clony		s clonou		
	štandard	vypočítaný		štandard	vypočítaný
1	$13,93 \pm 0,3$	12,5	12,2	—	—
2	$4,10 \pm 0,1$	3,57	3,44	$2,75 \pm 0,04$	2,64
3	$1,70 \pm 0,08$	1,40	1,34	$0,971 \pm 0,005$	0,85
4	$0,90 \pm 0,02$	0,76	0,73	$0,454 \pm 0,006$	0,50
5	$0,61 \pm 0,03$	0,43	0,40	$0,273 \pm 0,003$	0,25

Zo získaných výsledkov jeasné vidieť, že presnosť určenia  $\eta$  sa zvyšuje, ak sa použije pred okienko trubice clona. Chyba pri určovaní aktivity za geometriu bez clony je značne 15–20%, ba v polohe 5 až 30%, kým pri exteriom vyclonení je chyba menšia ako 10%.

Záverom dakujueme pracovníkom dozimetrického oddelenia Ústavu jaderného výskumu v Prahe za výhotovenie štandardov a ochotné poskytnutie konzultácií, ako aj inž. V. Zborilovi za prípravu vzoriek.

#### LITERATÚRA

- [1] Spicyn V. I., Kodočigor P. N., Golutvina M. M., Kuzina A. F., Sokolova Z. A., *Metody práce s radioaktívными индикаторами*. Praha 1957.
- [2] Kment V., Kuhn A., *Das Geiger-Müller Zählrohr*. Leipzig 1953.
- [3] Несмешнов А. Н., Лапидий А. В., Руденко Н. П., *Получение радиоактивных изотопов*. Москва 1954.
- [4] Пегржак К. А., Бак М. А., ЖТФ XXV (1955), 636–643.

- [5] Gleason G. I., Taylor J. D., Tabern D. L., Nucleonics 8 (1951), No 5, 19.
- [6] Grinberg B., Gallic Y., J. Phys. et Radium Phys. Appliquée 17 (1956), 35.
- [7] Stary J., Čes. fys. 57 (1957), 90.
- [8] Burtt B. P., Nucleonics 5 (1949), No 2, 28.
- [9] Seliger H. H., Phys. Rev. 88 (1952), 408.
- [10] Weiss C. F., *Radiative Standardapparate*. Berlin 1956.
- [11] Исследование в области дозиметрии ионизирующих излучений. ИАН СССР, Москва 1957.
- [12] Гусев Н. Г., *Чирвоноук по радиоактивным излучениям и защите*. Москва 1956.
- [13] Hine G. J., Brownell G. L., *Radiation dosimetry*. New York 1956.
- [14] Lerch P., Wittgenstein J., Bull. Soc. Vaucl. sc. Nat. 67 (1958), No 297.
- [15] Collie, Shaw, Gale, Proc. Phys. Soc. 63 (1950), No 363 A, 282.
- [16] Божкарев В. В., Кеirim-Маркус И. Б., Львова М. А., Пруслин Я. А., *Измерение активности источников beta и gamma излучений*. Москва 1953.
- [17] Zbořil V., Šebestian I., Trnovec T., Ďurček K., Chem. zvesti XIV (1960), č. 2, 91.

Došlo 25. 6. 1960.

Ústav hygieny práce a chorob  
z povolania  
v Bratislave

К МЕТОДАМ АБСОЛЮТНОЙ ДОЗИМЕТРИИ  $Sr^{90}$   
Алойзия Станковичова, Франтишек Минарик, Карол Ўорчек

#### Резюме

В статье приведены результаты коррективных коэффициентов, фигурирующих при абсолютной дозиметрии излучателей бета методом постоянной геометрии и торевых счетчиков, предназначенных для изотопа  $Sr^{90}$  в равновесии с  $Y^{90}$  и описывается экспериментальные условия.

Найденная эффективность сравниена с коэффициентом полученным при помощи стандарта.

BEITRAG ZUR METHODIK DER ABSOLUTEN DOSIMETRIE DES  $Sr^{90}$

Alojz Stankovičová, František Minárik, Karol Ďurček

#### Zusammenfassung

In der Arbeit sind die Resultate der Koeffizienten gegeben, welche bei der absoluten Dosimetrie des Isotops  $Sr^{90}$  in Gleichgewicht mit  $Y^{90}$  und für bestimmte Meßbedingungen.

Der gefundene „Koeffizient der Ausnützung“ ist mit dem, welcher mittels Standardpräparate bestimmt wurde, verglichen.